

# Metodología de investigación de Rocas Ornamentales: Granitos.

Por P. MUÑOZ DE LA NAVA (\*), J. A. ROMERO ESCUDERO (\*\*), I. RODRIGUEZ SUAREZ (\*\*\*),  
E. GARCIA ROMERO (\*\*\*\*), A. CRESPO ROSA (\*\*), F. CARRION MOLES (\*\*) y  
M. P. GARBAYO MARTINEZ (\*\*)

## RESUMEN

Durante la realización del proyecto del IGME «Potencial Básico de Granitos y Neises Ornamentales en Castilla y León» se desarrolló una metodología sistemática de investigación de granitos para uso ornamental que, por su versatilidad, puede hacerse extensible, en sus aspectos más generales, a otros tipos de rocas ornamentales e, incluso, rocas industriales en general. Para ello, se desarrollan una serie de fases de trabajo que comprenden: recogida de información, exploración de campo a escalas 1:50.000, 1:25.000 y 1:10.000, valoración de áreas y elección de puntos canterables, todo ello mediante la cuantificación de todos los parámetros y valores que han de tenerse en cuenta en la investigación de rocas ornamentales, que nos permiten dar un tratamiento objetivo a todas las áreas estudiadas.

*Palabras clave:* Metodología, Investigación, Ensayos, Calidad, Alteración, Fracturación, Sondeos, Canteras.

## ABSTRACT

During the execution of the IGME project «Basic potential of dimension granites and neises in Castilla and Leon» a systematic methodology on dimension granites prospection was developed which due to its versatility could be applied to other dimension rocks or even to industrial rocks in general. Such methodology consists on several phases which include: gathering of information, field exploration at different scales 1:50.000, 1:25.000 and 1:10.000, sites evaluation and selection of exploitable points, all of which through a suitable measure of all the parameters and values that should be taken in consideration when investigating dimension rocks allowing for an objective treatment of all the areas studied.

*Key words:* Methodology, Prospection, Assay, Quality, Alteration, Fracture, Hole, Quarry.

## INTRODUCCION

Se consideran Rocas Ornamentales aquellas cuya utilización primordial se basa en su valor estético, la vistosidad de su color, los contrastes cromáticos..., sin olvidar sus características mecánicas, igualmente importantes, al margen de que puedan utilizarse en otros sectores industriales: áridos, cementos...

Desde el punto de vista comercial, las Rocas Ornamentales se presentan formadas por tres gran-

des familias, agrupadas bajo los nombres de las tres rocas principales (granitos, mármoles y pizarras), englobando cada una de estas familias rocas muy diferentes (fig. 1).

La estructura del sector de las Rocas Ornamentales está constituida por una serie de factores interdependientes, representados en la figura 2. Se trata de un sistema cerrado en el que cada uno de los elementos integrantes depende del resto. Si el sistema lo iniciamos, por ejemplo, por la investigación, veremos cómo en ella influyen los otros factores: el mercado impondrá las condiciones que imperen en el momento (hábitos, productos utilizados, poder adquisitivo, color, tamaño de grano, etc...).

Este producto que demanda el mercado condi-

(\*) Instituto Tecnológico GeoMinero de España (ITGE).

(\*\*) Sociedad Cooperativa Limitada de Ingenieros de Minas para Estudios y Proyectos (SOCIMEP).

(\*\*\*) Geomecánica.

(\*\*\*\*) Dpto. de Cristalografía y Mineralogía. Facultad de C.C. Geológicas, Universidad Complutense. Madrid.

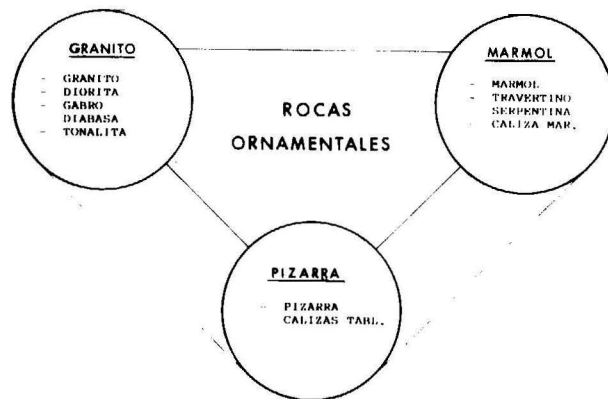


Figura 1.—Agrupación de rocas ornamentales por familias comerciales.

cionará, a su vez, el diseño de la Planta de Tratamiento, ya que, dependiendo del producto final que haya de obtenerse, habrá que utilizar una determinada maquinaria, un telar u otro, diferentes tipos de sierras, pulidoras, cintas, y así, sucesivamente, toda la maquinaria necesaria.

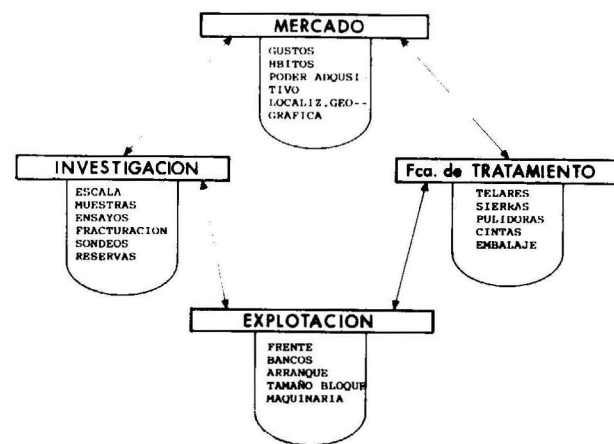


Figura 2.—Estructura del sector de las rocas ornamentales.

Otro elemento del sistema, la Explotación, también está condicionado por los requisitos del mercado. De hecho, es la planta de tratamiento la que determina las características del producto

que ha de salir de la cantera, por lo que ésta se dimensionará, dependiendo de lo anterior, en bloques de unas características determinadas.

De igual manera, la Investigación tendrá una gran incidencia sobre la Explotación, determinando las características concretas de la cantera (litología, fracturación, alteraciones, accesos...), su viabilidad (reservas, dominio minero, impacto ambiental...) y, junto con los parámetros determinados por la planta de tratamiento (telares, pulidoras...), permitirá confeccionar el plan de labores, tamaño de bloques, accesos, etc.

### OBJETIVOS DEL TRABAJO

De todos estos factores intervinientes en el sector de las rocas ornamentales nos ocuparemos, en el presente trabajo, de la investigación, partiendo del conocimiento previo del resto de los factores con los que se encuentra interrelacionada y que, por tanto, influyen en ella de forma decisiva.

Con este estudio se pretende elaborar un plan de trabajo que pueda comenzar a desarrollarse o finalizar en diferentes etapas (fig. 3), dependiendo de la investigación que queramos llevar a cabo. Aunque nos centraremos en los Granitos Ornamentales, este plan de trabajo es muy abierto, por lo que es adecuado para el estudio de cualquier roca ornamental, incluso para otras categorías de rocas industriales, variando únicamente el desarrollo de los parámetros de cada fase para cada roca en particular.

### METODOLOGIA A SEGUIR

Las fases a seguir, que se desarrollarán a continuación, son las siguientes:

- Fase I. Recopilación de información.
- Fase II. Exploración de campo (1:50.000).
- Fase III. Estudio a escala 1:25.000.
- Fase IV. Valoración de áreas.
- Fase V. Elección de puntos canterables.

#### FASE I

##### Recopilación de información

Esta fase comienza con la recopilación y análisis

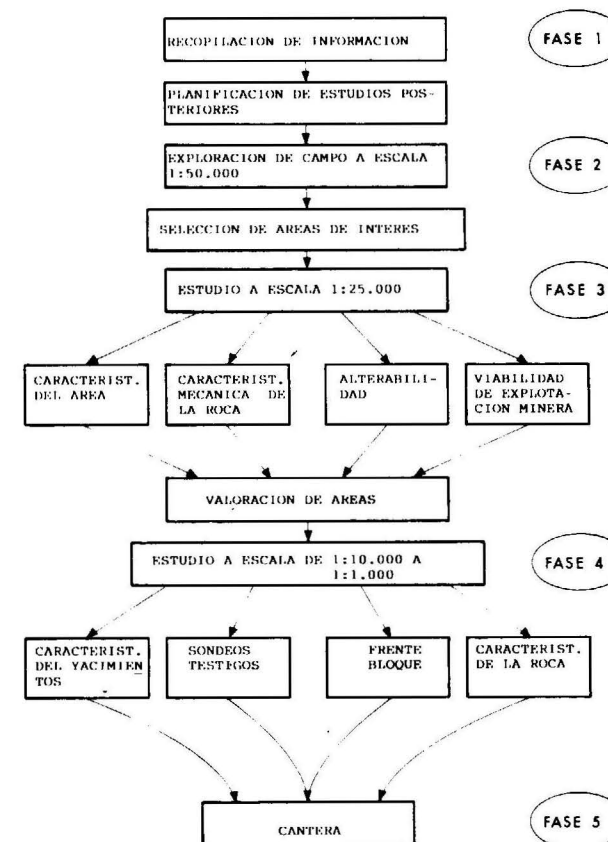


Figura 3.—Esquema general del plan de trabajo para investigación de rocas ornamentales.

lisis de toda la información geológico-minera sobre el área y roca a investigar. Para ello es necesario consultar publicaciones sobre rocas plutónicas en general, y en particular sobre las existentes en la zona. Asimismo, se pueden utilizar como información básica:

- Mapas de síntesis geológica, escala 1:200.000
- Hojas Magna, escala 1:50.000
- Mapas geológicos, escala 1:50.000, 1.ª serie
- Mapas de rocas industriales, escala 1:200.000
- Mapas metalogenéticos, escala 1:200.000

Esta información se completa con datos extraídos de:

- Documentación recopilada en el catastro minero.
- Información complementaria de las Hojas Magna.
- Tesis doctorales y otros documentos inéditos.

Además, es importante consultar la opinión de productores, empresas comercializadoras de granito y canteros, con objeto de adquirir un mayor conocimiento de la problemática que afecta a estas rocas en las fases de explotación, elaboración y comercialización.

#### FASE II

##### Exploración de campo (Estudio a escala 1:50.000)

Los datos recopilados en la fase anterior permiten planificar y programar la fase de exploración de campo (fig. 4) (a escala 1:50.000), cuyo objetivo es realizar una primera selección de áreas.

Para ello nos será de gran ayuda un detallado estudio fotogeológico de todo el área, prestando especial atención a los recubrimientos y fracturación con objeto de intensificar la exploración de campo en los sectores menos tectonizados.

En la campaña de campo han de analizarse características referentes a:

- 1) Propiedades específicas de los afloramientos.
- 2) Factores condicionantes de la explotabilidad.

Las propiedades del afloramiento que han de estudiarse son:

Morfología, fracturación, composición, color, homogeneidad, textura, cambios de facies, presencia de enclaves y gabarros, otras discontinuidades (Schlierens, layering...), oxidaciones, otras alteraciones.

Los factores condicionantes de la explotabilidad que han de tenerse en cuenta son:

Fracturación, tamaño del afloramiento, recubrimientos, topografía y accesos, impacto ambiental, existencia de canteras, infraestructura industrial de la zona...

En la figura 5 se muestra un modelo de ficha de indicios donde se plasma la información obtenida referente a las propiedades del afloramiento; en ella se recogen todos los aspectos observados en campo.

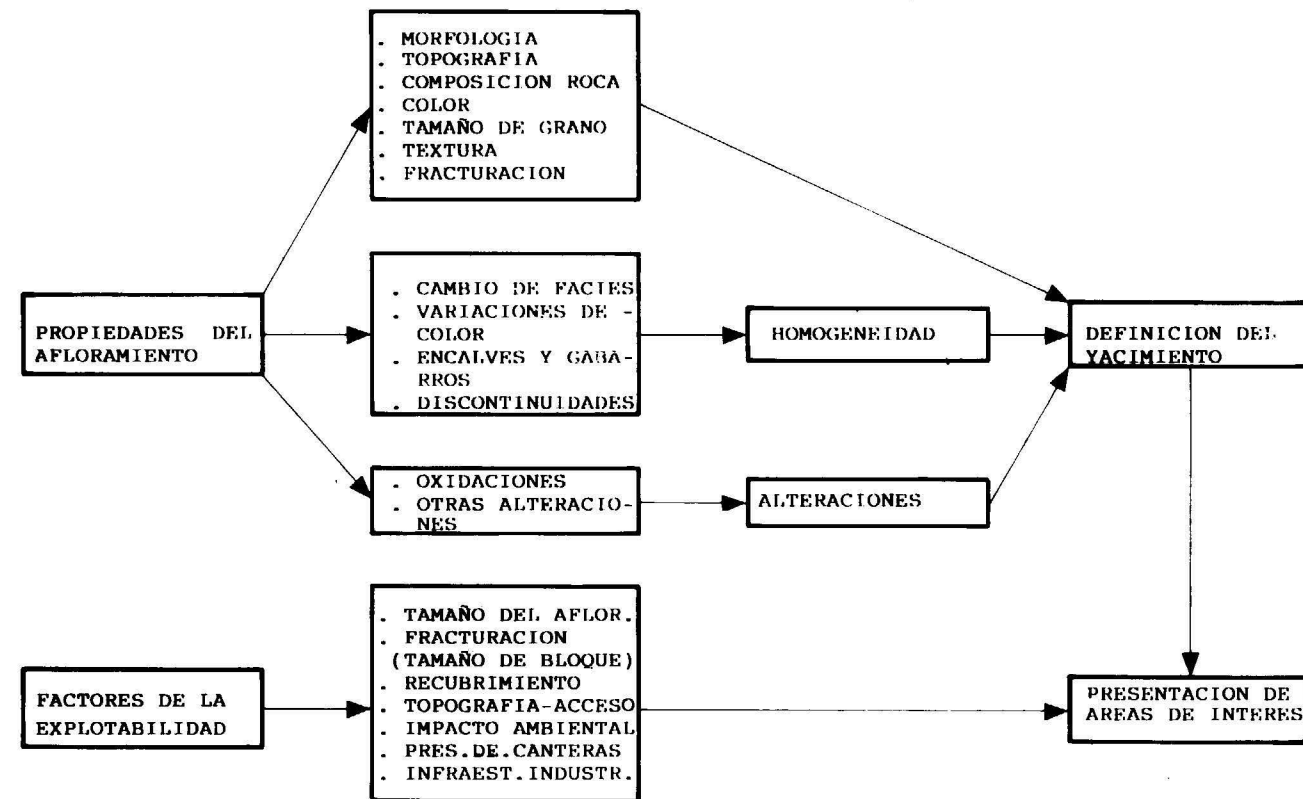


Figura 4.—Planificación de la exploración de campo y factores que hay que tener en ella.

Cada uno de los factores tenidos en cuenta en el campo influyen de forma diferente en la canterabilidad de un determinado afloramiento de granitos. Así, la *topografía* influye de forma directa en la accesibilidad a las zonas de interés y puede tener importancia cuando no existen accesos previos a la misma.

La *composición*, *color*, *tamaño de grano* y *textura* son propiedades intrínsecas de la roca que condicionarán, en gran medida, su carácter ornamental y por tanto serán factores fundamentales.

Los *cambios de facies*, *variaciones de color*, *presencia de enclaves* y *discontinuidades en general*, definen la homogeneidad del afloramiento y tienen una importancia directa en la canterabilidad del mismo.

El estudio de la *fracturación* ha de reflejar, fundamentalmente, la densidad del diaclasado de los afloramientos, siendo el condicionante principal en el tamaño del bloque a extraer. Así, un diaclasado denso no permite extraer bloques co-

merciales; un diaclasado medio solamente lo permite en zonas muy concretas y un diaclasado bajo favorece la extracción de bloques de tamaño comercial.

El estudio de la *alteración*, en esta fase, se limita a la meteorización observada «in situ» y al alcance o penetración de la misma, cuando es posible de determinar. Una meteorización baja corresponde a una costra alterada menor o igual a 2 cm. Una meteorización media equivale a una costra entre 2 y 20 cm.; y alta a valores superiores a 20 cm.

Las *oxidaciones* son uno de los factores más determinantes en el posible aprovechamiento de una cantera. En esta fase se ha de procurar detectar su presencia y precisar su distribución dado que, por su importancia, pueden hacer que una zona sea descartada definitivamente aunque los demás criterios dieran buenos valores para la explotación. Para ello, en esta fase del estudio, han de tomarse muestras frescas para la obtención de dos placas pulidas (15×8 y 1,5

GRANITOS DE  
- Ficha de Indicios -

LOCALIZACION

HOJA 50.000 N° :  
NOMBRE DEL PARAJE :  
N° DE MUESTRA :  
PTO. TOMA DE MUESTRAS :  
FOTOGRAFIAS :  
LAMINA DELGADA :  
TOPOGRAFIA :  
DATOS PARTICULARES :

INCICIO N° :  
FRESCA ☐ SUPERFICIAL ☐

(Reverso)

AFLORAMIENTO

FORMACION GEOLOGICA :  
EXTENSION :  
RECUBRIMIENTO :  
DIACLASADO :  
ESTRUCTURA Y MORFOLOGIA :  
ALTERACIONES :  
TAMAÑO DE BLOQUES :  
OTRAS CARACTERISTICAS :  
ACCESOS :  
VEGETACION :  
CAMBIOS DE FACIES :  
CANTERA :  
PRESENCIA DE BOLOS :  
PTO. TOMA DE BLOQUES :

ROCA

DENOMINACION :  
COLOR :  
TAMAÑO DE GRANO :  
COMPOSICION :  
GABARROS Y ENCLAVES :  
ORIENTACIONES :  
OTRAS CARACTERISTICAS :

OBSERVACIONES

FICHA N°

Figura 5.—Un modelo de ficha de indicios para toma de datos en campo.

centímetros), una de las cuales se someterá al ensayo de choque térmico (UNE 22-197).

El *tamaño del afloramiento* hace referencia a la extensión del yacimiento, que indicará el volumen de reservas mínimas conocidas, y tendrá en cuenta los recubrimientos y cambios litológicos.

Los *recubrimientos* hacen referencia a la distribución, tipo y espesor de los mismos.

El *impacto ambiental* se refiere a la contaminación por polvo o ruidos que pueda producir una posible explotación, así como al impacto visual, ocasionado por el frente de cantera o escombreras.

La *existencia de canteras* señala un potencial de explotación ya conocido que ha movido a la

iniciativa privada a desarrollar una actividad extractiva en ese punto. Se hace distinción en tres tipos de canteras en función del destino del material extraído:

- Canteras de uso ornamental, se refieren a las que extraen bloques para cortar en talleres de elaboración en placas de 2-3 cm.
- Canteras en las que se extraen bloques pequeños que se utilizan para hacer bordillos, sillares, adoquines, etc.
- Canteras de áridos, en las que se tritura el granito.

La *infraestructura industrial* hace referencia a todas aquellas instalaciones que se requieren para el funcionamiento de una cantera, su existencia o no puede tener una repercusión económica grande que puede llegar a posibilitar la implantación de una cantera.

En el transcurso de esta Fase II han de efectuarse, asimismo, *análisis petrográficos* destinados a conocer con precisión la composición mineralógica y estructural de la roca, caracterizando así las distintas facies graníticas.

Todos los datos recogidos en la campaña de campo se plasman en los planos geológico-mineros a escala 1:50.000. Asimismo, en estos planos se representa la cartografía de las diferentes facies graníticas y la morfología de los afloramientos en relación con los recubrimientos, junto con las concesiones mineras y los límites de las áreas seleccionadas.

Finalmente, en base a todos los datos obtenidos en las fases I y II, se puede proceder a la valoración de las áreas preseleccionadas. En la figura 6 se muestra el modelo de ficha utilizado para realizar la valoración de dichas áreas.

En esta ficha se incluyen los criterios de selección y canterabilidad previa, a los cuales se les ha asignado un coeficiente corrector ( $K_i$ ) en función del grado de importancia de cada criterio cara a la valoración de la calidad del área objeto de estudio.

Los parámetros que definen estos criterios han sido valorados según una escala de 0 a 9, donde el cero indica el valor óptimo y el 9 corresponde a la peor calidad.

La valoración de cada índice (V) ha sido estima-



AREA:

CARACTERISTICAS DEL AFLORAMIENTO (morfología, recubrimientos, vegetación, etc)														
LITOLÓGIA														
CRITERIOS DE VALORACION (V <sub>i</sub> )														
CRITERIOS DE SELECCION PREVIA	Topografía	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	COEF. K <sub>i</sub>	VALOR K <sub>i</sub> V <sub>i</sub>	OBSERVACIONES
	Accesos											3		
	Alteracion a escala de yacimiento											6		
	Fracturación, diaclasado, posibilidad extraccion y tamaño bloques											7		
	Oxidaciones											8		
CRITERIOS DE CANTERABILIDAD PREVIA	Discontinuidades (Sabarros, diques enclaves, bandeados, filones, etc)											10		
	Tamaño del yacimiento											9		
	Impacto ambiental											2		
	Existencia de canteras o minas											4		
	Infraestructura industrial											5		
VALORACION AREA K <sub>i</sub> V <sub>i</sub>														
												1		

CLASE	A	B	C	D	E
Intervalo %	0-20	20-40	40-60	60-80	80-100

CLASIFICACION =

$$V_{min} = 0 \quad V_{max} = 49.50 \quad V = (\sum K_i \cdot V_i) \times 100 / V_{max} \cdot \sum n_i$$

Figura 6.—Criterios de selección y valoración de áreas canterables.

da según la expresión matemática que aparece en la parte inferior de la ficha:

$$V = \frac{\sum K_i \cdot V_i}{V_{max} \cdot \sum n_i} \times 100$$

donde:

V<sub>max</sub>: Constante (diferente para cada índice)=

$$\frac{9 \sum K_i}{\sum n_i}$$

- K<sub>i</sub>: Coeficiente corrector.
- V<sub>i</sub>: Valoración de la propiedad o criterio estudiado.
- n<sub>i</sub>: Número de parámetros.

El valor obtenido ha de quedar incluido en alguno de los intervalos que definen las casillas A, B, C, D y E:

- A: Muy Bueno    0- 20
- B: Bueno    20- 40
- C: Aceptable    40- 60
- D: Malo    60- 80
- E: Muy Malo    80-100

Es importante hacer mención a la subjetividad que supone el valorar cuantitativamente un área canterable desde el punto de vista ornamental. Lo que ha de pretenderse con esta valoración es someter todas las áreas a los mismos parámetros de selección, siendo, de este modo, la subjetividad una constante común a todas ellas. Por ello, adquieren mayor importancia los valores relativos entre áreas que el valor absoluto de los parámetros.

Como consecuencia de todo lo realizado hasta el momento, se habrán generado una serie de fichas que nos permitirán hacer una selección y pasar a la Fase III, según se indica en la figura 3.

FASE III

Estudio a escala 1:25.000

Las zonas seleccionadas en la fase anterior se estudian con un mayor detalle (escala 1:25.000)

durante esta Fase, analizándose un conjunto de parámetros referentes a:

- 1) Características geológicas del yacimiento.
- 2) Calidad de la roca.
- 3) Viabilidad de explotación minera.

1) Características del yacimiento

Las características que han de tenerse en cuenta a escala 1:25.000 son (fig. 7):

— Vistosidad o calidad ornamental:

Este criterio se basa en las tendencias del mercado en cada momento, si bien tienen siempre buena aceptación las rocas oscuras (dioritas, gabros..., etc.), lo que condiciona la calidad ornamental es, evidentemente, el color y el tamaño de grano. Este factor no debe ser nunca eliminario, pues nunca tiene un criterio fijo la elección del color.

— Homogeneidad del yacimiento:

Se refiere a los cambios litológico, variaciones de color y tamaño de grano, presencia y distribución de megacristales, existencia de gabarros, slierens, diques, venas, cavidades mirolíticas, diferenciados magmáticos..., etc.

— Medidas de foliación magmáticas y tectónicas:

Se trata de determinar la «fabric» granítica, ya que este tipo de estructuras son las que marcan las direcciones de corte del bloque extraído en la cantera. Pueden encontrarse casos en los que los granitos no estén orientados. Estas orientaciones —que están marcadas por la disposición de las micas y megacristales—, cuando existen, son denominadas por los canteros como «ley» o «hilo» de la «piedra».

— Presencia de oxidaciones:

Se refiere a la existencia de minerales alterables (pirita, pirrotina, etc.), que puedan dar lugar a manchas en la roca ornamental.

— Estudio de la fracturación:

La fracturación del yacimiento es uno de los factores condicionantes más importantes de la explotabilidad del mismo. De la densidad y espa-











La *absorción* (Norma UNE 22-172) es una propiedad de la roca directamente relacionada con el volumen de poros de la misma; a mayor porosidad habrá mayor absorción, lo cual se traduce en una mayor facilidad de la roca para alterarse, y por consiguiente, valores altos de absorción contribuyen a una peor calidad mecánica. Análogamente, el *peso específico* (Norma UNE 22-172) también está relacionado, entre otros factores, con la porosidad. De tal modo que a mayor porosidad será menor el peso específico.

La *resistencia a la heladicidad* (Norma UNE 22-174) pone de manifiesto la posibilidad de fracturación por acción de las heladas como consecuencia del relleno de los poros por el agua intersticial. En este ensayo se determina el módulo de heladicidad que refleja la pérdida en peso que se produce en el transcurso del ensayo. A mayor módulo de heladicidad será mayor la pérdida en peso y por consiguiente será peor la calidad de la roca.

La *resistencia a la flexión* (Norma UNE 22-176) y a la *compresión* (Norma UNE 22-175) indica la carga máxima por unidad necesaria para que se produzca la rotura. Evidentemente, cuanto mayor sea el coeficiente de resistencia a la compresión mejor será la calidad de la roca. De igual modo, será mejor la calidad de la roca cuanto mayor sea el coeficiente de resistencia a la flexión.

El objetivo del ensayo de *desgaste por rozamiento* (Norma UNE 22-172), es determinar las pérdidas en peso y en volumen que experimenta la roca a lo largo del ensayo. De tal modo que cuanto menor sea el coeficiente de desgaste por rozamiento, será mayor la durabilidad de la roca.

Finalmente, es necesario mencionar que el *ensayo de dilatación lineal térmica* se encuentra en fase experimental, no existiendo en la actualidad ninguna normativa oficial referente al mismo. Este ensayo ha sido realizado calentando la muestra en un intervalo de temperatura de 0 a 80° C, registrando la dilatación de la probeta por un sistema de bandas extensiométricas conectadas a un puente de Wiston. La calidad del granito será inversamente proporcional a la dilatación lineal térmica que experimente, dado que al recuperar la temperatura ambiente la muestra no recupera totalmente su estado inicial,

quedando una deformación residual que favorece la inestabilidad de la roca.

El ensayo de *choque térmico* (Norma UNE 22-197), al que se somete a una placa de 15×8×1,5 centímetros a través de 25 ciclos de frío (20° C) — calor (105° C) es determinante para el granito, y con él se puede observar la facilidad de éste para oxidarse con la aparición de manchas de color parduzco, en cuyo caso el granito pierde gran parte, si no todo, su interés comercial.

FASE IV

Valoración de áreas

El objetivo final al que se ha llegado con el estudio de todas las características analizadas durante la Fase III (1:25.000), es determinar el grado de explotabilidad de las canteras investigadas. El resumen de los pasos seguidos para la consecución de este objetivo queda reflejado en la figura 10.

Todas las propiedades y características estudiadas en las áreas seleccionadas han sido transformadas en índices con el fin de facilitar el análisis comparativo entre las distintas canteras objeto de estudio. Para la construcción de estos índices es necesario cuantificar los diferentes parámetros que definen las características geológico-mineras de los yacimientos.

Cada parámetro tiene una valoración campo-gabinete según una escala (V<sub>i</sub>) de 0 a 9 (de mejor a peor) de acuerdo con el grado de importancia que tenga en cada cantera. Este valor, a su vez, se multiplica por un coeficiente corrector (K<sub>i</sub>) de acuerdo con la importancia que dicho parámetro pueda tener respecto a la propiedad que define y en relación con los demás parámetros que intervengan en la caracterización de la propiedad.

Para proceder a evaluar un área han de tenerse en cuenta los siguientes INDICES DE VALORACION DE YACIMIENTOS:

INDICE

Parámetro	K <sub>i</sub>
* <b>Accesibilidad:</b>	
Topografía ... ..	1
Accesos ... ..	2
* <b>Calidad del afloramiento:</b>	
Alteraciones ... ..	3

Recubrimientos ... ..	2
Morfología ... ..	1
* <b>Homogeneidad:</b>	
Litología ... ..	1
Cambios de facies ... ..	6
Oxidaciones ... ..	13
Gabarros ... ..	9
Enclaves metamórficos ... ..	10
Schlieren ... ..	7
Diques ... ..	11
Venas ... ..	12
Layering ... ..	8
Color ... ..	5
Textura ... ..	2
Tamaño de grano ... ..	4
Orientaciones ... ..	3
* <b>Fracturación del yacimiento:</b>	
Disposición diaclasado ... ..	1
Densidad diaclasado ... ..	2
* <b>Calidad del yacimiento:</b>	
Accesibilidad ... ..	1
Calidad del afloramiento ... ..	4
Homogeneidad ... ..	2
Fracturación ... ..	3
* <b>Viabilidad de explotación minera:</b>	
Reservas ... ..	5
Infraestructura industrial ... ..	2
Concesiones mineras ... ..	1
Impacto ambiental ... ..	3
Frentes potenciales ... ..	1
* <b>Canterabilidad:</b>	
Calidad del yacimiento ... ..	2
Viabilidad explotación minera ... ..	1
* <b>Deterioro actual y potencial:</b>	
Microfracturación transgranular ... ..	2
Microfracturación intragranular ... ..	1
Minerales de alteración superficial ... ..	3
* <b>Deterioro potencial:</b>	
Tamaño de grano ... ..	4
Bordes de grano ... ..	1
Zonación plagioclasas ... ..	6
Estructura Fto. K ... ..	2
Microfracturación intragranular ... ..	8
Microfracturación transgranular ... ..	9
Minerales de alteración superficial ... ..	10
Composición mineralógica ... ..	7
* <b>Alterabilidad:</b>	
Deterioro actual ... ..	2
Deterioro potencial ... ..	3
Meteorización potencial ... ..	1
Oxidación ... ..	4
* <b>Calidad mecánica:</b>	
(figura 11)	
Absorción ... ..	5
Peso específico ... ..	1
Heladicidad ... ..	7

Composición ... ..	4
Flexión ... ..	3
Desgaste por rozamiento ... ..	2
C. lineal térmica ... ..	6
* <b>Calidad de la roca:</b>	
Alterabilidad ... ..	2
Calidad mecánica ... ..	1

\* **Desviación de resultados para:**  
— Revestimientos  
— Pavimentos y sillares (figura 12)

\* **Canterabilidad.**

\* **Calidad de la roca** (figura 13).

De este modo, cada propiedad vendrá definida por un índice obtenido según la expresión matemática:

$$V = \frac{\sum K_i \cdot V_i}{V_{max} \cdot \sum n_i} \times 100$$

Todos estos índices se obtendrán al plasmar todos sus parámetros en unas fichas (según el modelo de la figura 6) y aplicar la ecuación anterior.

Como se puede observar en estas fichas, se indica el área seleccionada y yacimiento que se investiga, la propiedad que se está valorando, y la clasificación obtenida a partir del valor del índice, el cual quedará comprendido dentro de los siguientes intervalos:

Indice		Clasificación
0- 20	=	Muy buena
20- 40	=	Buena
40- 60	=	Aceptable
60- 80	=	Mala
80-100	=	Muy mala

Un tratamiento especial recibe la información extraída de los ensayos mecánicos debido a la gran importancia que tiene para la definición de la calidad de la roca, y a que dichos ensayos dan valores absolutos.

La valoración de la calidad mecánica de la roca se representa dentro de la figura 11, en la que se incluye, para cada parámetro mecánico, un coeficiente corrector (K<sub>i</sub>) según la posible utilización de la roca en la construcción (revesti-

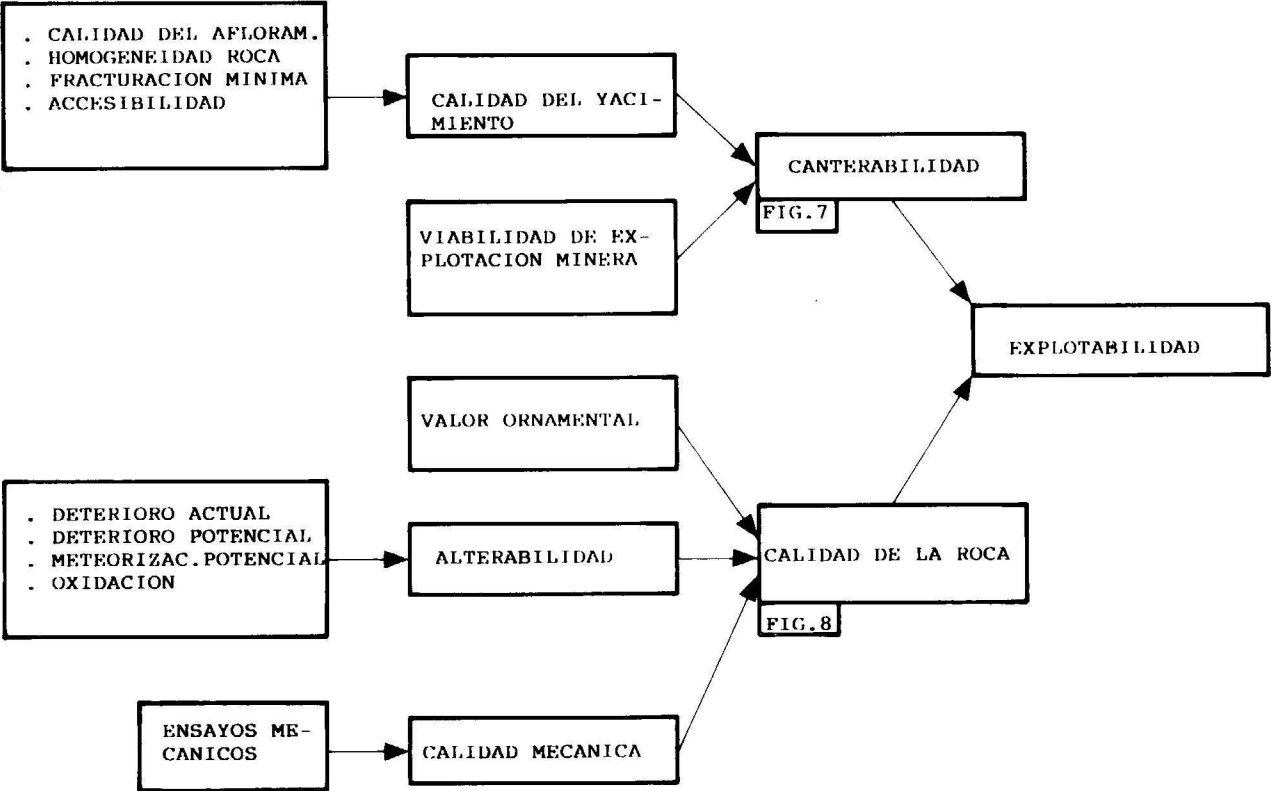


Figura 10.—Síntesis de todos los estudios realizados en la zona hasta determinar su grado de explotabilidad.

mientos exteriores e interiores, pavimentos exteriores e interiores, sillares y columnas exteriores e interiores). Los coeficientes ( $K_i$ ) se han asignado, a cada uno de los parámetros, teniendo en cuenta la importancia relativa que tiene cada propiedad mecánica de la roca según el destino de la misma, en base a las normas de la edificación (N. T. E.).

El valor obtenido en cada ensayo (absorción, peso específico...) ha sido transformado a una escala de 0 a 9 (mejor a peor), al igual que en las demás propiedades. Esta transformación se hace considerando el valor mínimo aceptable (dado por las normas de construcción) como el punto medio de la escala 0-9. El índice de la calidad mecánica ( $I_{cm}$ ) se calcula aplicando la fórmula ya utilizada para las demás propiedades.

$$I_{cm} = \frac{\sum K_i \cdot V_i}{V_{max} \cdot \sum n_i} \times 100$$

Asimismo, se expone una representación gráfica

de las desviaciones de los parámetros mecánicos respecto a los valores mínimos aceptables definidos en las Normas Técnicas de Edificación (fig. 12).

Es necesario destacar la subjetividad de estas valoraciones teniendo en cuenta la gran dificultad existente para cuantificar las propiedades intrínsecas de la roca. No obstante, tiene más importancia el análisis comparativo de los resultados obtenidos que el valor absoluto de los mismos.

Los resultados obtenidos de todos estos cálculos, referentes a la valoración de las distintas propiedades, se sintetizan en 3 fichas resumen:

- Fichas de canterabilidad (fig. 14).
- Ficha de calidad mecánica (fig. 11).
- Ficha de calidad de la roca (fig. 13).

En esta última, asimismo, se indica la utilización preferente de la roca.

AREA SELECCIONADA:  
YACIMIENTO:

INI

PARAMETROS MECANICOS	V <sub>i</sub>										Revest. exterior K <sub>i</sub> K <sub>i</sub> V <sub>i</sub> 1 1 1	Revest. interior K <sub>i</sub> K <sub>i</sub> V <sub>i</sub> 1 1 1	Paviment. exterior K <sub>i</sub> K <sub>i</sub> V <sub>i</sub> 1 1 1	Paviment. interior K <sub>i</sub> K <sub>i</sub> V <sub>i</sub> 1 1 1	Sillares y columnas exteriores K <sub>i</sub> K <sub>i</sub> V <sub>i</sub> 1 1 1	Sillares y columnas interiores K <sub>i</sub> K <sub>i</sub> V <sub>i</sub> 1 1 1	VALORES OBTENIDOS EN LOS ENSAYOS
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9							
Absorción de agua (Vol. de agua)						5					6				4		
Peso específico aparente (gr/cm <sup>3</sup> )						1					1				1		
Módulo de heladicidad (% en peso)						7					2				2		
Coef. Resist. a la <sub>2</sub> compresión (Kg/cm <sup>2</sup> )						4					3				7		
Coef. Resist. a la flexión (Kg/cm <sup>2</sup> )						3					4				3		
Coef. Resist. al desgaste por rozamiento (m)						2					5				2		
Coef. de dilatación lineal térmica (°C <sup>-1</sup> )						6					7				5		
K <sub>i</sub> V <sub>i</sub>																	
VALOR MEDIO =																	

CLASIFICACION

$$I_{CM} = \frac{\sum K_i V_i}{V_{max} \cdot \sum n_i} \times 10$$

$$V_{max} = 36$$

0-20	20-40	40-60	60-80	80-100
ME	B	A	M	MM

Figura 11.—Ficha de valoración de yacimientos: Índice de calidad mecánica.

FICHA Nº \_\_\_\_\_

AREA SELECCIONADA :

YACIMIENTO :

DESVIACION DE LOS RESULTADOS CON RESPECTO A LOS VALORES EXIGIDOS POR LAS NORMAS N.T.E. PARA PAVIMENTOS, SILLARES Y COLUMNAS (C, D, E, F)

PARAMETROS MECANICOS	VALORES MINIMOS EXIGIDOS (NTE)	VALORES OBTENIDOS	DESVIACIONES		OBSERVACIONES
			(+)	(-)	
ABSORCION DE AGUA	1,4 en vol. de agua				
PESO ESPECIFICO APARENTE	2,5 gr/cm <sup>3</sup>				
MODULO DE HELADICIDAD	0,04 % en peso				
COEFICIENTE DE RESISTENCIA A LA COMPRESION	1.300 kg/cm <sup>2</sup>				
COEFICIENTE DE RESISTENCIA AL DESGASTE POR ROZAMIENTO	1,3 m				
COEFICIENTE DE RESISTENCIA A LA FLEXION	80 kg/cm <sup>2</sup>				
COEFICIENTE DE DILATACION LINEAL TERMICA	7,5 x 10 <sup>6</sup> °C <sup>-1</sup>				

USOS PREFERENTES :

NOTA :

Figura 12.—Ficha de ensayos mecánicos.

AREA SELECCIONADA :

YACIMIENTO :

USO PREFERENTE :

PROPIEDAD	PARAMETROS	K <sub>1</sub>	V <sub>1</sub>	INDICE 3 <sup>er</sup> ORDEN	K <sub>1</sub>	INDICE 2º ORDEN	K <sub>1</sub>	INDICE 1 <sup>er</sup> ORDEN	OBSERVACIONES		
DETERIORO ACTUAL	Microfracturación transgranular	2		I <sub>DA</sub> =	2	ALTERABILIDAD I <sub>AL</sub> =	2	CALIDAD DE LA ROCA I <sub>CR</sub> =			
	Microfracturación intragranular	1									
	Min. alt. sup. y retrodiagénesis	3									
DETERIORO POTENCIAL	Tamaño de grano	4		I <sub>DP</sub> =	3						
	Borde de grano	1									
	Heterogeneidad textural	5									
	Recristalización	3									
	Zonación plagioclasas	6									
	Estructura feldespato potasico	2									
	Microfracturación transgranular	9									
	Microfracturación intragranular	8									
	Min. alt. sup. y retrodiagénesis	10									
	Composición mineralógica	7									
METEORIZACION POTENCIAL	% Na	115/0.35		I <sub>MP</sub> =	1						
	% Mg	488/0.90									
	% K	94/0.25									
	% Ca	407/0.7									
OXIDACION	Grado de alteración (ensayo de alteración)	1		I <sub>OX</sub> =	4						
CALIDAD MECANICA	Absorción de agua			I <sub>CM</sub> =		CALIDAD MECANICA I <sub>CM</sub> =	1				
	Peso específico aparente										
	Módulo de heladicidad										
	Coef. resistencia compresión										
	Coef. resistencia a flexión										
	Coef. resit. desgaste rozamiento										
	Coef. dilatación lineal térmica										

$$I = (\sum K_i \cdot V_i) \times 100 / V_{\text{máx}} \cdot \sum n_i$$

Figura 13.—Ficha de valoración de yacimientos: Calidad de la roca.



AREA SELECCIONADA :  
YACIMIENTO :

PROPIEDAD	PARAMETROS	K <sub>1</sub>	V <sub>1</sub>	INDICE 3er ORDEN	K <sub>1</sub>	INDICE 2º ORDEN	K <sub>1</sub>	INDICE 1er ORDEN	OBSERVACIONES
ACCESIBILIDAD	Topografía	1		I <sub>ACC</sub> =	1				
	Accesos	2							
	Alteración	3		I <sub>CAF</sub> =	4				
	Recubrimientos	2							
CALIDAD DE AFLORAMIENTO	Morfología	1		I <sub>H6</sub> =	2	CALIDAD DEL YACIMIENTO	I <sub>CY</sub> =	2	CANTERABILIDAD
	Litología	1							
	Cambios de facies	6							
	Oxidaciones	13							
	Gabarras	9							
	Enclaves metamórficos	10							
	Schlieren	7							
	Diques	11							
	Venas	12							
	Layering	8							
HOMOGENEIDAD	Color	5		I <sub>FY</sub> =	3	VIABILIDAD DE EXPLOTACION MINERA	I <sub>VEH</sub> =	1	I <sub>C</sub> =
	Textura	2							
	Tamaño de grano	4							
	Orientaciones	3							
	Disposición diaclasado	1							
	Densidad diaclasado	2							
FRACTURACION DEL YACIMIENTO	Reservas	5		I <sub>VEH</sub> =					
	Infraestructura industrial	2							
VIABILIDAD DE EXPLOTACION MINERA	Concesiones mineras	1		I <sub>VEH</sub> =					
	Impacto ambiental	3							
	Frentes potenciales	4							

$$I = (\sum_{i=1}^n K_i \cdot V_i) \times 100 / V_{\max} \cdot \sum_{i=1}^n 1$$

Figura 14.—Ficha de valoración de yacimientos: Canterabilidad.

Estos valores, que se obtienen de todas las propiedades y todas las áreas, permiten hacer una selección de zonas de la Fase IV (fig. 3), en la que seguir estudiando estos mismos parámetros, pero ya a una escala 1:10.000, y en la que se introduce un nuevo elemento que hasta ahora no era imprescindible y que son los SONDEOS de testigo continuo.

FASE V

Elección de puntos canterables

Antes de la ejecución física de los sondeos, y en las zonas previamente seleccionadas, se estudiarán, de nuevo, todos los parámetros anteriormente estudiados, ahora en un ámbito territorial mucho más restringido (escala 1:10.000 a 1:1.000).

En esta fase el objeto es elegir puntos canterables, por lo que habrán de tenerse en cuenta factores que incidan en las condiciones de explotación como pueden ser la existencia de caras libres naturales, desniveles, condiciones de drenaje, potencia de la zona alterada, vías de comunicación, etc., amén de una estimación de reservas disponibles de fácil explotación inmediata.

A pesar del gran número de datos de que se dispone en esta fase de investigación (geológicos, mecánicos, ambientales, etc.) sería temerario comenzar una explotación sin recurrir, previamente, a la realización de sondeos mecánicos con testigo continuo. En principio, dichos sondeos han de alcanzar una profundidad no superior a los 20 metros, si bien el diámetro del testigo ha de ser el mayor posible (78-86 mm.). Con ellos han de comprobarse, además de la vistosidad ornamental, la homogeneidad de la roca, tamaño de grano, color, presencia de alteraciones, oxidaciones, etc., en definitiva, todas las propiedades de la roca que puedan condicionar

la viabilidad de la explotación; por ello es, igualmente, imprescindible la realización de ensayos de choque térmico, placas pulidas, etc., que permitan controlar las características mecánicas de la roca.

El estudio de las propiedades expuestas en esta metodología de investigación son igualmente importantes, si bien caben destacarse como imprescindibles los estudios de alterabilidad (oxidación) y fracturación, ya que de resultar negativo cualquiera de ellos puede estar justificado el desechar un determinado área o afloramiento granítico.

Si todos estos datos, a la vez que el estudio de mercado, resultan positivos, nos encontramos en condiciones de comenzar la última fase del plan de trabajo previsto (fig. 3): LA EXPLOTACION.

AGRADECIMIENTOS

Queremos mostrar nuestro agradecimiento a Manuel Rábade, Ana Díaz y Mayte Navajo por la delineación y mecanografía de los originales.

BIBLIOGRAFIA

ESBERT ALEMANY, R. M., y ORDAZ GARBALLO, J. (1985): *Alteración y alterabilidad de las piedras de construcción: Criterios petrofísicos y ensayos de laboratorio*. I Congreso de Patología en la Edificación. Barcelona.

ITGE (1986): *Potencial básico de granitos y neises ornamentales en Castilla-León*.

ITGE (1986): *Análisis de las posibilidades de granitos s.l. ornamentales en Cataluña*.

ITGE (1987): *Potencial básico de granitos ornamentales en Castilla-La Mancha*.

ITGE (1988): *Prospección de rocas ornamentales en Madrid*.

SAAVEDRA, J. (1970): *Índice de meteorización potencial*. Stvdia Geológica. Salamanca.

Original recibido: Enero de 1989.  
Original aceptado: Marzo de 1989.